

Pizarras de techar

*Cárdenes Van den Eynde, V.¹, Pais Diz, V.²,
García Guinea, J.³ y Gómez Fernández, F.⁴*

¹ Fundación Centro Tecnológico Pizarra. Sobradelo de Valdeorras, s/n. 32330 Ourense

² Pizarras Expiz S.A.

³ Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), Madrid

⁴ Escuela Ingenieros de Minas de León

HISTORIA

Los primeros indicios de aprovechamiento de pizarra como material de construcción en la Península Ibérica son los castros, nombre que viene del latín *castrorum*. Este es el nombre que se le daban a los antiguos campamentos militares romanos y por extensión, a las construcciones prehistóricas de Galicia. Fuera de la Península Ibérica, existen asentamientos en la región de Exmoor, Inglaterra, de época megalítica cuyos muros están contruidos con pizarra. En el Antiguo Egipto la pizarra se utilizó con fines distintos a la edificación. La *Paleta del Rey Narmer* (3100 a.c., Museo de El Cairo) es un bajorrelieve tallado en pizarra y representa la batalla que dió la victoria al Alto sobre el Bajo Egipto. En ella aparecen representados faraones, ejércitos, sirvientes y diversos animales. Lugo capital esta rodeada por una muralla romana de pizarra del siglo III, declarada Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año 2000. En Turquía, está el montículo Hissarlik, donde se supone que estuvo la antigua ciudad de Troya, también muestra restos de murallas de pizarra.

La pizarra se siguió utilizando como material de construcción, tanto para muros como para cubiertas. Uno de los edificios de pizarra más antiguos que se conservan hoy en día en España es la iglesia de Santa María de O Cebreiro, en Lugo, construida enteramente en pizarra junto con el hospital y el cementerio que conforman el conjunto arquitectónico destinado a dar cobijo a los peregrinos del Camino de Santiago. La cubierta de este conjunto

esta elaborada con pizarra tipo granel, o *lastrois* en gallego, de entre dos y tres centímetros de espesor, cortada a mano por los maestros canteros de la época.

Posteriormente surgen las pallozas, se trata de construcciones de planta circular muy populares en la zona del Bierzo y Lugo, donde hasta la década de los 60 aún se utilizaban como viviendas permanentes. Los muros de las pallozas suelen ser de pizarra, mientras que el techo se construye de paja con una columna de madera en el centro de la construcción que le da soporte. La palloza se divide en varias zonas, establo, almacén y habitaciones, con una zona común en el centro donde se cocina. Hoy en día hay pallozas bien conservadas en Campo del Agua, Balboa y Piornedo, y en múltiples localidades de las comarcas del Caurel y El Bierzo.

Las primeras explotaciones sistemáticas de pizarra se remontan al siglo XII, en diversos centros artesanales en Inglaterra, Escocia, Gales e Irlanda. Parte de estas canteras de pizarra continuaron funcionando hasta el siglo XIX, lo que demuestra su longevidad y la potencia de las capas explotadas. En España, Felipe II, a mediados del siglo XVI, y siguiendo el estilo de la arquitectura noble de los Países Bajos, Francia e Inglaterra, empieza a introducir pizarra como elemento de cubierta en algunos de los edificios y monumentos más grandes construidos bajo su reinado y el de sus sucesores de la Dinastía de los Austrias. La obra cumbre es el Monasterio de El Escorial, pero toda la zona noble de Madrid y localidades próximas, como el Real Sitio de Aranjuez, muestran auténticas obras maestras en pizarra.

Las canteras que proporcionaron gran parte de esta pizarra histórica en Bernardos (Segovia) que se siguen explotando hoy en día.

En el municipio de Carballeda de Valdeorras, centro geográfico de las explotaciones de pizarra gallegas, perdura un gran número de iglesias y ermitas que en su mayoría fueron reconstruidas o remodeladas entre los siglos XVII y XVIII, utilizando para las cubiertas la pizarra gruesa de tipo granel. A mediados del siglo XVIII, en el *Catastro de Ensenada*, aparece una primera referencia sobre la explotación de la pizarra en Carballeda. En este catastro, se informa de una *louxeira* o explotación de pizarra, en el término municipal de Casaio.

Las primeras canteras de pizarra se localizan a lo largo del valle del río Casaio, desde el Macizo de Trevinca hasta la altura de Viladequinta. Estas explotaciones eran para consumo propio y se aprovechaban casi in situ, en ocasiones en laderas muy escarpadas y sin caminos de acceso. La extracción se hacía de manera comunal según el sistema de *xeiras voltas*, cuando un vecino necesitaba pizarra, el resto de integrantes de la comunidad le ayudaban en las tareas de arranque y transporte, estando luego obligado a ofrecer la misma colaboración cuando otro miembro de la comunidad lo necesitaba. Este sistema de explotación subsistió hasta comienzos de la década de los 60 del pasado siglo, cuando se produjo la ruptura de las comunidades agrarias por la emigración junto con la consolidación de los sistemas de explotación industriales. Las herramientas que se utilizaban en las canteras eran comunes a otros trabajos agrarios, como barras, picas y palancas de madera y de hierro. Los bloques de pizarra se extraían solo con esfuerzo humano ya que la topografía limitaba la accesibilidad a los animales de carga, y la pizarra se exfoliaba y recortaba en la misma cantera para transportar el menor peso posible. Una de las primeras referencias a la industria de extracción de la pizarra se encuentra en el *Diccionario Geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar* (Madoz, P; 1849), donde en la voz "Pusmazán", que es un pueblo del municipio de Carballeda de Valdeorras señala que en dicho pueblo existe

una industria de “*extracción de pizarra para tejados*”. En 1883 llega el ferrocarril a la zona, al inaugurarse la línea Palencia – A Coruña, hecho que aumenta un poco la producción y utilización de la pizarra, empezándose a utilizar en municipios circundantes. En 1900 la compañía inglesa *Royal Slate Quarry* explotaba una cantera en Congosto, provincia de León, siendo transportada la pizarra por ferrocarril desde San Miguel de las Dueñas y se dedicaba de manera exclusiva a la comercialización de la pizarra, la *Rogelio Limeres y Compañía*, con domicilio social en Sobradelo y en 1909 se funda la primera sociedad mercantil colectiva de capital español. La cantera de dicha empresa se situaba en el término municipal de Robledo de Domiz, en el paraje conocido como *A Troia*. El acarreo de la pizarra se realizaba en carretas de bueyes hasta la estación de ferrocarril de Sobradelo de Valdeorras. Este método de transporte era insuficiente para las expectativas de producción que tenían los socios, por lo que se acordó construir una vía férrea de dos kilómetros desde la cantera hasta las inmediaciones de la estación de Sobradelo. Sin embargo, el presupuesto inicial se disparó, y a pesar de que la vía llegó a funcionar utilizando animales de carga, la sociedad se disolvió cuatro años más tarde, vendiéndose el hierro de los raíles como chatarra que en su mayor parte fue destinada a elaborar armamento para la Primera Guerra Mundial.

A comienzos de la década de los 60 del siglo XX, la comarca de Valdeorras se encontraba sumida en una situación de subdesarrollo económico. Al finalizar la Segunda Guerra Mundial las explotaciones de wólfram de los montes de Casaio se paralizaron y la gran mayoría de los trabajadores de la comarca se quedaron sin sustento. La única fuente de riqueza disponible era una exigua actividad agropecuaria, bajo adversas condiciones climáticas y topográficas.



FIGURA 1. *Monasterio del Escorial, ejemplo histórico de utilización de Pizarras de techar.*



FIGURA 2. *Cubierta de placas irregulares, sobre algunas de las cuales se han desarrollado líquenes.*

Mucha gente se vio obligada a emigrar a otros países de Europa. Algunos permanecieron en la comarca con la idea de extraer y vender pizarra utilizando solo fuerza animal ya que el primer compresor que se utilizó en la minería de la pizarra, en 1962, fue un motor de gasolina de un camión desguazado. Los cartuchos de pólvora negra para arrancar el rachón se embutían a mano en la piedra, empleándose una maza y una barrena para la realización de los taladros, siendo esta una tarea bastante ardua.

La primera paleadora no llegó hasta finales de los sesenta. En esta década se produce el avance más importante en la industria de la pizarra al incorporarse el corte con disco de diamante en las naves de elaboración, sustituyendo al anticuado sistema de corte con mazas y cuñas. En las primeras sierras de este tipo, el carro donde se deposita la piedra para cortar se accionaba a mano, pero a pesar de esto se mejoró considerablemente el aprovechamiento en nave. Las tijeras accionadas a pedal se introdujeron a finales de esa década. A partir de ese momento, el desarrollo tecnológico del sector ha sido constante, introduciéndose continuos avances en la fabricación.

Se crearon las primeras sociedades cooperativas, Pizarras Samaca y Cupire-Padesa, por parte de una serie de empresarios del sector que vieron que la mejor forma de adaptarse al mercado era aunar esfuerzos. Hoy en día, estas dos empresas continúan a la cabeza del mercado de la pizarra a nivel mundial.

Poco a poco se fue abriendo mercado en otros países, primero en Francia, que a comienzos de la década de los 70 ya envió los primeros operarios e ingenieros a la zona con la intención de enseñar los requerimientos del mercado francés a los encargados locales. En esta década también se introducen los troqueles para recortar la pizarra en formatos especiales.

Uno de los factores que ayudó a la rápida penetración en el mercado francés fueron las huelgas que afectaron a las canteras francesas en la década de los 60, lo que produjo un déficit de abastecimiento en aquel país y abrió las puertas a la pizarra española.

La mejora de la red viaria y la apertura de nuevas explotaciones invirtieron el proceso de emigración con el retorno de muchos emigrantes. Se creó nuevo empleo en las industrias asociadas a la pizarra, como colocación de cubiertas, durante ese periodo se formaron muy buenos colocadores. Los cuadros de mando en las empresas se especializaron, y se fueron creando las categorías laborales vigentes hoy en día: Encargado, Gruista, Serrador, Labrador, Rajador, Cortador y Embalador.

Durante la década de los 80 se introdujeron las primeras cortadoras neumáticas, que como la mayoría de las innovaciones en la maquinaria eran de desarrollo y fabricación española. Se empezaron a regular las escombreras y los vertidos procedentes de las naves de elaboración, creándose legislación al respecto.

A comienzo de la década de los 90 se introdujo el corte con hilo de diamante, lo que redujo de forma drástica el uso de pólvora en las canteras para extraer los bloques de pi-



FIGURA 3. Cubierta de placas regulares en medio rural en la región de Valdehorras.

zorra. Esta tecnología de origen italiano se venía utilizando con buenos resultados en las canteras de mármol de Carrara, y en España en la extracción de granito. Esto produjo un aumento espectacular de los rendimientos tanto de explotación como de elaboración, ya que la utilización de explosivos en el proceso de arranque de la pizarra produce fracturación a veces sólo perceptible en la manipulación posterior de los bloques.

En los primeros años de los 90 el sector de la pizarra se vio sacudido por una huelga general que duró, de forma intermitente, más de dos meses. Durante todo este tiempo se vivieron momentos muy difíciles tanto para los trabajadores como para los empresarios, llegando a ser secundado el paro por la mayoría de comercios de los pueblos de la zona. Al final se alcanzó un acuerdo que zanjó la cuestión sobre el que aunque aún hoy día existen discrepancias respecto a aquel acuerdo.

La segunda mitad de los 90 fue un momento dulce para el sector, en esos años se vendió mucha pizarra y se realizaron fuertes inversiones en maquinaria y naves de elaboración.

A comienzos del siglo XXI, los principales retos que afronta el sector pasan por aumentar la penetración en el mercado y contener en la medida de lo posible los costes de explotación. También resulta muy necesario pactar acuerdos entre productores y administraciones respecto a planes de restauración de escombreras y mejoras de infraestructuras (Figuras 4 y 5).

La evolución lógica de las explotaciones es hacia la minería de interior, ya que cada vez los desmontes son mayores y el aprovechamiento en mina interior siempre es mayor que en cantera a cielo abierto.



FIGURA 4. *Escombreras de gran impacto ambiental en el Valle de Casaio.*



FIGURA 5. *Proceso de restauración de una escombrera.*

Un factor importante para la promoción de la pizarra en cualquier mercado es la existencia de colocadores cualificados que den salida al producto, así como la incorporación de las últimas tecnologías en extracción y elaboración. El rendimiento neto por trabajador es el mismo actualmente que en los años 60, lo que se ha incrementado ha sido la calidad del producto que se fabrica y la calidad de los puestos de trabajo. Las nuevas estaciones automáticas de tratamiento que se están introduciendo en las naves de elaboración permiten cortar, aplicar protectores contra los agentes meteorológicos, secar y embalar la pizarra de forma automática.

MERCADO

Históricamente, el mercado de la pizarra atraviesa periodos cíclicos de bonanza económica alternando con periodos en los que las ventas se estancan. Cada uno de estos periodos suele ser de unos seis años. Hoy en día, el mercado de la pizarra atraviesa uno de esos momentos de escasez en las ventas, ya que mientras que la demanda ha crecido de forma aritmética, los medios de producción lo han hecho de manera geométrica, generándose un exceso de oferta de muy difícil control. Hoy por hoy, el principal peligro para la pizarra no viene de la competencia de países extranjeros, como China o Brasil, ni de las crisis económicas globales, aunque son factores que hay que ponderar, sino del mismo sector que se ve incapaz de controlar su producción.

Francia

Tradicionalmente Francia ha sido el principal importador de pizarra española, y aunque en los últimos años ha sufrido la crisis de manera especial, junto con Alemania, parece que se va recuperando poco a poco. La pizarra se consume principalmente en las zonas de Bretaña, Normandía, Pirineos y zona centro. El formato característico es 32×22 siguiendo el formato utilizado en el sector de la pizarra en referencia a piezas rectangulares de 32 centímetros de largo por 22 centímetros de ancho, junto con algunas otras piezas más pequeñas. Francia absorbe todo tipo de calidades, primera, segunda y tercera, aunque en los últimos años, algunos productos artificiales, como las placas de fibrocemento, policarbonato o tégola se ha empezado a vender en lugar de las pizarras de segunda y tercera. Los espesores suelen ser finos, de 3 milímetros en adelante. En el mercado existen diversos tipos y formatos de estos productos, además de una extensa gama de colores. Presentan mayores problemas de durabilidad que la pizarra natural. La puesta en cubierta se hace siguiendo el sistema de colocación clásica con triple solape. Los mayores problemas que presenta la pizarra según el mercado francés son de tipo estético, como alteraciones u oxidaciones, seguidos de defectos en la fabricación.

El Laboratorio Nacional de Ensayos (LNE) es el organismo encargado de expedir la certificación de idoneidad para la pizarra según las propias normas francesas, AFNOR P-32301 y AFNOR P-32302. Los muestreos son llevados a cabo en cantera por los técnicos del propio laboratorio. La norma P-32301 es de carácter obligatorio, no permitiéndose la entrada en el país de pizarra para cubiertas que no cumpla con sus especificaciones. Sin embargo, esto no ha supuesto ningún problema para la pizarra española, ya que no se conoce ninguna pizarra que no cumpla con esta norma, siendo el propio mercado el que selecciona los productos de acuerdo con las características tradicionales de cada región. La norma P-32302 tiene carácter informativo, siendo discutida y aprobada con carácter de urgencia el último día a partir del cual la UE no permitía la modificación de las normas nacionales, pasando entonces la competencia normativa a la propia UE. Esta norma clasifica la pizarra en tres grados, A, B y C, en función de los resultados obtenidos en los ensayos. Los ensayos que se utilizan son densidad, espesor, absorción de agua, resistencia al hielo, resistencia a la flexión, contenida en sulfuros de hierro y contenida en carbonatos. Sin embargo, estos grados no tienen porque corresponder a pizarras de calidad creciente. Se pueden encontrar pizarras de clase A que presentan características cualitativas inferiores a pizarras de clase B, lo que origina cierta confusión en el sector. Las normas francesas, así como el resto de normas nacionales propias de cada país, se verán derogadas en Mayo del año 2006 a favor del mercado CE de pizarra para cubiertas, que unificará los criterios de los países de la UE. Más adelante se tratará el tema de forma más profunda.

La evolución del mercado francés se prevé constante, se trata de un mercado estable, el más importante para la pizarra española, con un máximo histórico en el año 2001 de 316.500 toneladas importadas.

Alemania

El mercado alemán ha caído en los últimos cinco años en torno al 40%. Este bajón en las importaciones de pizarra es reflejo de la crisis generalizada que sufre el sector de la cons-

trucción en Alemania desde los años 2000 y 2001. Los formatos de pizarra que se utilizan en Alemania tienen un carácter muy tradicional, siendo los más característicos los tipos *Schuppen* y *Media Luna*, casi exclusivos de este mercado, utilizándose también en las zonas fronterizas de los países aledaños a Alemania. La calidad que se exige es fundamentalmente primera, aunque debido a las dificultades económicas hay una evolución hacia calidades inferiores, y se exige un espesor mínimo de 5 milímetros. Se presta gran atención a la fabricación del producto y al sonido que emite una pizarra al golpearse con algún objeto metálico, que debe de ser limpio y cristalino. Las oxidaciones no tienen tanta importancia como en otros países. El modelo *Schuppen* tiene tres lados rectos, dos de los cuales son paralelos y al tercer lado se le opone un borde con una curvatura grande. Ese tercer lado rectilíneo forma además un ángulo agudo con uno de los bordes paralelos, y se une mediante un chaflán con el otro, teniendo forma de escama. Se colocan con unas reglas muy rigurosas, atendiendo especialmente a la capilaridad, a la vez que las aristas determinan una línea de deslizamiento del agua. Así, la cubierta queda con el aspecto del cuerpo escamoso de un pez. La normativa alemana tiene carácter informativo y esta definida por las normas DIN, no siendo obligatorio realizar ensayos para utilizar la pizarra en Alemania. Los grandes distribuidores hacen sus propios controles de calidad en cantera según sus criterios de calidad. El mercado alemán está atravesando un periodo de bajo movimiento, que no se espera que se recupere a corto plazo, pero que tampoco parece que vaya a caer mucho más.

Bélgica y Luxemburgo

En estos dos países, el mercado es estable y constante en volúmenes y calidades. Holanda, el otro país del BENELUX, no es un gran mercado, ya que la pizarra se utiliza sobre todo para la restauración de los monumentos históricos.

El formato estándar es el 35X25, con un espesor entre 4 y 5 milímetros y siempre teniendo a material de primera calidad. Las reclamaciones sobre el producto suelen venir por oxidaciones, desviaciones de la planaridad y defectos en el acabado. Asimismo, los tonos negros y la hebra marcada tienen baja aceptación entre los clientes, prefiriéndose los tonos grisáceos y la superficie de la pizarra totalmente plana. El sistema de colocación es con gancho, que es mejor que la punta, por lo económico de la pieza en comparación y por la facilidad para reemplazar las piezas rotas, operación que se puede hacer sin tener que romper las piezas de alrededor, mientras que con la colocación a punta hay que levantar parte de la cubierta esté o no deteriorada. En estos países se suele dar mucha importancia a las relaciones entre el proveedor y el cliente. La norma que se utiliza es la STS, que no clasifica la pizarra, simplemente la homologan si cumple los requisitos mínimos. La pizarra no homologada también puede ser comercializada, aunque para su uso en edificios públicos ha de estar homologada, lo que hace que en la práctica los productores se preocupen por tener sus productos homologados. En este caso, son los propios técnicos del laboratorio los que muestrean tanto en cantera como en los puntos de venta, por lo general cada tres años.

Reino Unido

La economía de este país no sufre el mismo estancamiento que el resto de la UE, siendo el sector de la construcción idóneo para la pizarra que se consume en todo el territorio.

Tradicionalmente se vienen empleando tamaños grandes, como 50×25 y 60×30, lo que explica que en un mercado tan favorable para la pizarra española se exporte relativamente tan poco. No ha sido hasta hace unos años que los avances en la tecnología de extracción y elaboración de la pizarra han permitido hacer formatos de estos tamaños, que tiene tanta aceptación en el Reino Unido. Para los consumidores británicos la planaridad de las piezas es más importante que la oxidación. Este mercado absorbe todas las calidades de pizarra, teniendo más en cuenta los criterios económicos a la hora de comprar material. La manera de colocar la pizarra es tradicional, empleándose aún puntas de acero galvanizado, con las desventajas que trae esto frente al gancho. Además, al ir la pizarra perforada se incrementa su precio. Sin embargo, los colocadores ingleses se resisten a cambiar de método. En el país de Gales persisten aún varias canteras de pizarra que tienen una baja producción pero que gozan de un elevado prestigio entre los clientes y arquitectos del Reino Unido. La norma que se sigue es la BS-680, para la obtención de la cual se envían las muestras por parte del productor o comerciante al laboratorio, con el consiguiente sesgo en los resultados. Por este motivo, los resultados no son muy fiables y en raras ocasiones se exige la homologación. Este mercado tiene una buena evolución, pudiendo absorber aún más producción hasta unas 200.000 toneladas, según estimaciones de empresarios del sector. Mes a mes se comporta de manera un tanto convulsiva, con fuertes subidas y bajadas en la demanda, pero anualmente se muestra estable. La zona sur del país y la periferia londinense marcan las tendencias del mercado. También es de resaltar la entrada en este mercado de la pizarra proveniente de Brasil, que posee una gama de tonalidades más amplia que la pizarra española y se suele utilizar en obras especiales, junto con pizarra proveniente de China, Canadá y Argentina, aunque la pizarra que tiene mejor relación calidad-precio es la española.

España

Produce el 87% del consumo mundial de pizarra a un alto nivel de calidad por lo que las importaciones son anecdóticas. En los últimos años las ventas de pizarra en España han aumentado menos de lo esperado, lo que sumado a una gran cantidad de oferta ha saturado el mercado. Las empresas hicieron grandes inversiones en maquinaria y aumentaron la capacidad de producción mientras que la demanda sólo creció moderadamente por lo que hoy en día la pizarra tiene un mercado difícil. Las zonas donde hay una mayor tradición de colocación de pizarra son Galicia, León, Pirineos y la sierra de Madrid. Curiosamente, en muchos municipios gallegos está prohibido colocar cubiertas de pizarra en los edificios de nueva construcción por ininteligibles razones políticas. Los formatos tradicionales españoles son las plantillas pequeñas, aunque últimamente se está tendiendo a colocar formatos más grandes, 30×20 porque, a pesar de que la pizarra es más cara, rinde más a la hora de colocarla en obra y el precio global es más económico. Las calidades suelen ser dispares, con una tendencia a colocar pizarras de segunda y tercera. Se coloca con gancho, menos los formatos de granel que van con punta. En la Comunidad de Madrid se utilizan sobre todo ganchos galvanizados, mientras que en el resto de España se utilizan ganchos de acero inoxidable. En España no se exige homologación para la pizarra, la calidad se acuerda entre el vendedor y el comprador. La falta de una reglamentación a este respecto hace que en muchos casos el producto que se le vende al cliente no acabe de cumplir las expectativas puestas en él, lo que redundará en perjuicio de todo el sector.

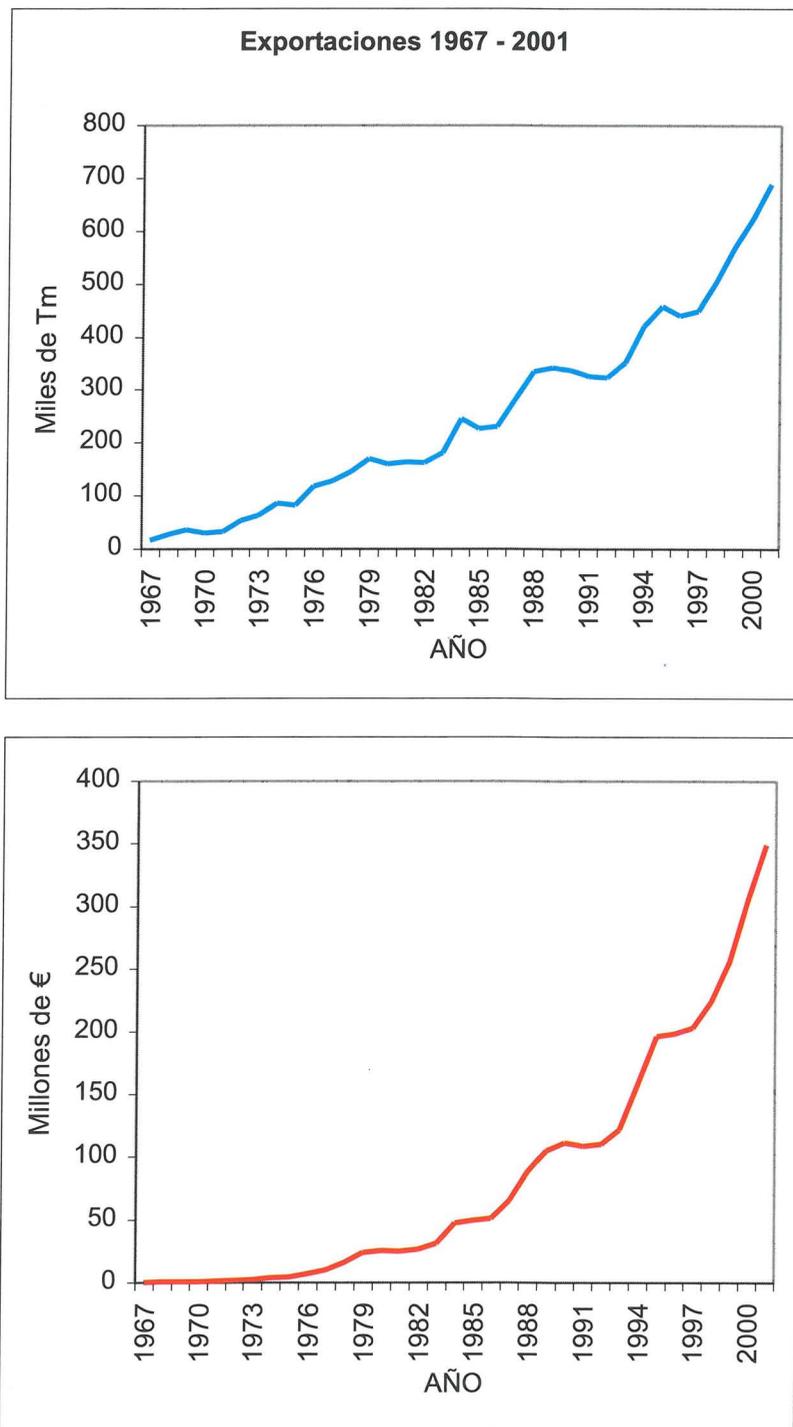


FIGURA 6. Evolución de las exportaciones españolas de pizarras en tonelaje y en valor económico.

Estados Unidos

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX se consumió mucha pizarra en los USA, explotándose numerosas canteras en el estado de Vermont, algunas todavía en explotación. También se importa pizarra del Canadá, donde permanecen pequeñas canteras que abastecen este mercado americano. Los formatos distintivos de este país son los intermedios, plantillas de 40×25 y 40×20, y en las zonas más tradicionales, concretamente en la Costa Este, se emplean plantillas grandes, de 50×25 en adelante, con espesores mínimos de cinco milímetros. El mercado estadounidense tiene un enorme potencial y una gran capacidad para absorber la pizarra española, pero falta personal cualificado, colocadores de pizarra que instalen el producto, lo que hoy por hoy retrasa la apertura de este mercado.

Japón

Se trata de un mercado pequeño y poco importante para la pizarra de cubiertas, a pesar de que se han construido grandes obras con pizarra española, como el Shizuoka Kenmin Plaza, en Osaka, revestido con pizarra Verde Pol, proveniente de Lugo. Esta pizarra se utiliza para recubrimientos de muros y fachadas, gozando de gran prestigio en Japón.

China

Hoy en día, China no es una nación importadora de pizarra. El país dispone de buenos yacimientos de pizarra para cubiertas, pero tanto sus redes viarias como el desarrollo tecnológico e incluso la misma burocracia, ralentizan el despegue de esta industria. Ya se empieza a vender pizarra china, sobre todo en el Reino Unido para obras puntuales. La pizarra china que llega a España por lo general es de calidad desigual y mala fabricación. El mercado chino puede llegar a ser plenamente competitivo, y cuando esto ocurra, tendrá que hacer frente a su propia demanda interna, ya que China tiene mucha tradición en colocación de pizarra, por lo que, a priori, no debería afectar a las exportaciones españolas.

Brasil

Al igual que China, se trata de un país fundamentalmente exportador, tanto de pizarra para cubiertas como de pizarra para revestimientos. Estas rocas tienen una gama de tonalidades mas amplia que las españolas, por lo que en determinados mercados, como en el sur del Reino Unido, pueden llegar a suponer competencia para las exportaciones españolas.

Marca CE para la pizarra española

El mercado CE en pizarras para cubiertas representa un cambio profundo para el sector. El mercado CE forma parte de las medidas que la Comisión Europea acordó tomar, dirigidas a la consecución del mercado único, siendo la directiva 89/106/CEE de Diciembre de 1988 la que menciona de forma expresa los productos de construcción entre los que se encuentra la pizarra para cubiertas. Dicha directiva fue complementada posteriormente en Julio de 1993 por la directiva 93/68/CEE, que ya define de manera clara el mercado CE.

Estas directivas comunitarias fueron adoptadas por la legislación española mediante el real decreto 1630/1992, posteriormente modificado y ampliado por el real decreto 1328/1995. Con estas directivas, se pretende regular de forma conjunta para toda la UE los productos de construcción que entran a formar parte en las obras de edificios e ingeniería civil, haciendo hincapié en que dichos productos han de cumplir unos requisitos fundamentales, que son:

- Resistencia y estabilidad.
- Seguridad en caso de incendio.
- Higiene, salud y medio ambiente.
- Seguridad de utilización.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.

Estos requisitos están reflejados para el caso de la pizarra para cubiertas en dos documentos, la declaración de conformidad y el marcado CE, siguiendo las especificaciones que se detallan en las normas UNE-EN 12326.

Normas UNE-EN 12326

Hoy en día existen dos normas específicas para pizarra, la norma UNE-EN 12326-1 "*Especificaciones del producto*", que detalla los requisitos que se le exigen a la pizarra, y la UNE-EN 12326-2 "*Métodos de ensayo*" donde se especifican como han de realizarse dichos métodos de ensayo. Estos ensayos se realizan en un organismo o laboratorio acreditado al efecto por el organismo competente de cada país, que en España son las consejerías de industria de cada comunidad autónoma, y son válidos para toda Europa, con lo que se pretende unificar criterios para todos los países. Otro efecto de esta decisión es el acabar con el monopolio que tienen los laboratorios nacionales, que tienen en exclusiva el poder de otorgar la homologación para sus respectivos países. Los resultados obtenidos de los ensayos sobre las pizarras las caracterizan satisfactoriamente, existiendo ciertos márgenes de aceptación para cada ensayo. En este punto conviene recalcar que las normas ha sido realizadas por expertos reconocidos del sector de la pizarra provenientes de toda Europa, y los márgenes de aceptación que se han establecido concuerdan con la realidad de la pizarra para cubiertas, inclinándose hacia una mejora de la calidad del producto.

Ensayos de tipo

Los ensayos de tipo son los ensayos previos a la certificación de una clase de pizarra y los ejecuta el organismo o laboratorio autorizado. Estos ensayos de tipo hay que realizarlos la primera vez que se aplique la norma UNE-EN 12326-1 o cuando haya un cambio brusco e inesperado en la geología de la pizarra que altere su calidad o aspecto externo. El organismo o laboratorio encargado de hacer estos ensayos entrega al fabricante un certificado conforme estos han sido realizados. Los ensayos de tipo iniciales determinan la calidad de la fabricación (espesor, longitudes, planeidad, etc), la resistencia a la flexión, petrografía de la pizarra, la absorción de agua y los componentes no deseados en la pizarra (carbonatos, carbono y sulfuros de hierro).

Control de producción en fábrica

Mediante el control de producción en fábrica (CPF) el fabricante implanta, documenta y mantiene un sistema interno que asegura que la pizarra que vende cumple con las características establecidas anteriormente. La frecuencia con la que hay que realizar el CPF depende de las características concretas de la pizarra que se examinen, siendo por lo general de carácter anual como mínimo. Con este control se busca que el propio fabricante lleve un control periódico de sus productos, aunque no está obligado a realizar estos ensayos en un organismo o laboratorio autorizado, siempre y cuando tenga capacidad para hacerlos el mismo. Este CPF es compatible con los requisitos exigidos en la norma EN ISO 9001, por lo que las empresas que ya tengan implantada dicha norma no tienen que preocuparse en volver a hacerlo.

Declaración de conformidad

Con los resultados de los ensayos se elabora la declaración de conformidad, que es un documento donde el fabricante autoriza el marcado CC- de sus productos bajo su responsabilidad. En esta declaración de conformidad han de constar los siguientes datos:

- Nombre y dirección del fabricante o de su representante autorizado y lugar de producción.
- Descripción del producto (tipo, identificación, uso, etc) y una copia de la información que acompaña al marcado CC- .
- Declaración de los requisitos que cumple el producto.
- Condiciones particulares aplicables al uso del producto, como por ejemplo, información sobre el uso en determinadas condiciones, etc.
- Nombre y función de la persona que firma la declaración en representación del fabricante o de su representante autorizado.
- Explicación del significado de los resultados de los ensayos y los rangos de aceptación o requisitos aplicables.

Etiquetas de marca CC-

Con la información de la declaración de conformidad se elaboran unas etiquetas que se corresponden al marcado CC- propiamente dicho y son las que acompañan al producto. La marca CC- ha de estar dibujada según se estipula en el Real Decreto 1328/1995, prohibiéndose la colocación en productos o embalajes de marcados que pudieran inducir a error a terceros en relación con el significado o el logotipo del marcado CC- . La siguiente información y características deben acompañar al marcado CC- (cuando corresponda):

- El nombre o la marca comercial y la dirección registrada del fabricante.
- Los últimos dos dígitos del año en el que se colocó el marcado.
- La referencia de la norma (EN 12326-1).
- El tipo de producto (por ejemplo, pizarra para tejados o pizarra carbonatada para tejados, y el formato).
- Información sobre las siguientes características esenciales referidas a la pizarra, que ya vienen expresadas en la declaración de conformidad.
- Variación dimensional

- Resistencia mecánica
- Permeabilidad al agua
- Durabilidad (contenido en carbonatos y absorción de agua, ciclo de heladicidad, exposición al SO₂ y el contenido de carbono no carbonatado)

Sustancias peligrosas.- En el caso de comportamiento al fuego externo: “Se considera que cumple”. *Para la reacción al fuego:* “Se considera que cumple con la clase A1”

Es necesario que tanto la documentación como el marcado CC- vayan en el idioma del país donde se comercialice la pizarra. La pizarra importada de terceros países también deberá poseer este marcado, correspondiendo en este caso realizar la declaración de conformidad al mandatario del fabricante que se encuentre legalmente establecido en la UE. Esto supondrá un freno a la importación de pizarra de dudosa calidad desde otros países.

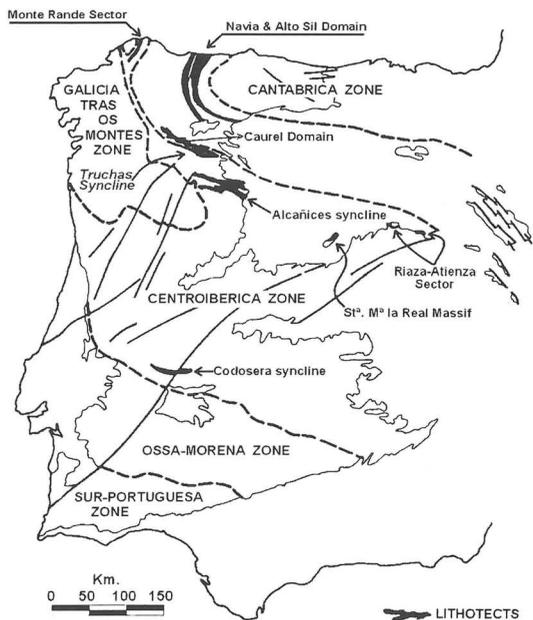
MARCO GEOLÓGICO

Las pizarras para cubiertas son rocas metamórficas, compactas y de grano fino. Poseen un clivaje pizarroso y pueden ser abiertas en lajas. Generalmente se forman a partir de argilitas o pizarras sedimentarias. Aunque estas características generales definen la mayor parte de las pizarras metamórficas, sólo una mínima parte de éstas son adecuadas para su aprovechamiento como pizarra para techar, puesto que requieren unas condiciones sedimentarias, metamórficas y estructurales muy especiales. Los valores estimados de metamorfismo se corresponden a un grado bajo o muy bajo, con unos límites de presión y temperatura del orden de 3-4 kbar y entre 350 y 470°C respectivamente. Estos valores son los de las facies metamórficas de los esquistos verdes. De entre todas las zonas productoras de pizarra en España, sobresale por la cantidad y calidad de explotaciones que alberga, la estructura geológica denominada Sinclinorio de Truchas, que se encuentra entre las provincias de León y Ourense. (Figuras 7, 8 y 9)

El Sinclinorio de Truchas es una gran estructura sinformal e intensamente replegada, de carácter asimétrico y vergente hacia el noreste, que tiene su origen en la primera fase de deformación Varisca. Presenta un flanco Sur corto y muy verticalizado, que se puede ver al Sur de la localidad de La Baña (León), y un flanco Norte largo y mucho más tendido, que se verticaliza a medida que se aproxima al NE. Se encuentra dentro de la Zona Centro-Ibérica (ZCI) (Lotze, 1945; Julivert et al., 1972) limitando al Norte con el Anticlinal del Teleno y al Sur con el Antiforme del Olló de Sapo (Parga Pondal et al., 1964).

Este Sinclinorio presenta una traza axial NNO-SSE, y un clivage generalizado (S1) desarrollado bajo condiciones metamórficas en facies de los esquistos verdes, paralelo al plano axial de pliegues aplastados que se interpretan como generados durante la primera fase de deformación Varisca. Sobreimpuesta a esta deformación temprana se produce una verticalización de estas estructuras, resultado de un plegamiento más suave atribuido a la tercera fase de deformación Varisca, y que genera además una crenulación (S3) y pliegues de tipo kink-band (Matte, 1968; Marcos, 1973; Pérez-Estaún, 1978). Esta gran estructura presenta un trazado elíptico en planta, con una dirección mayor que ronda los 40 km de longitud y otra menor de casi 20 km.

La sucesión estratigráfica presente en la zona (Figura 10) se encuentra representada por una potente serie pelítico-arenosa de edad ordovícica y silúrica. La base de la sucesión,



		ZONA ASTUROCCIDENTAL-LEO			ZONA CENTROIBERICA					
		Dominio del Navia y Alto Sil	Dominio del Manto de Mondoñedo	Dominio del Caurel	Dominio de Truchas		Sector de Monte Rande	Sinclinal de Alcañices	Macizo de Sta. Maria la Real	Sinclinal de la Codosera
					Sinclinal de Truchas	Sector Riaza-Atienza				
DEVONICO							Fm. Manzanal		• Ud. Gevora	
SILURICO							o			
ORDOVICICO	ASHGILIENSE				Fm. Casalo + Fm. Rozadais •••	Fm. Rodada o				
	CARADOCIENSE									
	LLANDEILOIENSE	Fm. Pizarras de Luarca •		Fm. Pizarras de Luarca ••			•	Fm. Villafior o		
	LLANVIRNIENSE				Fm. Pizarras de Luarca •••					
	ARENGIENSE									
	TREMADOCIENSE									
CAMBRICO		Fm. Candana •							•	
	PRE-ARENGIEN									

FIGURA 7 A Y B. (según Lombardero y Quereda, 1992).

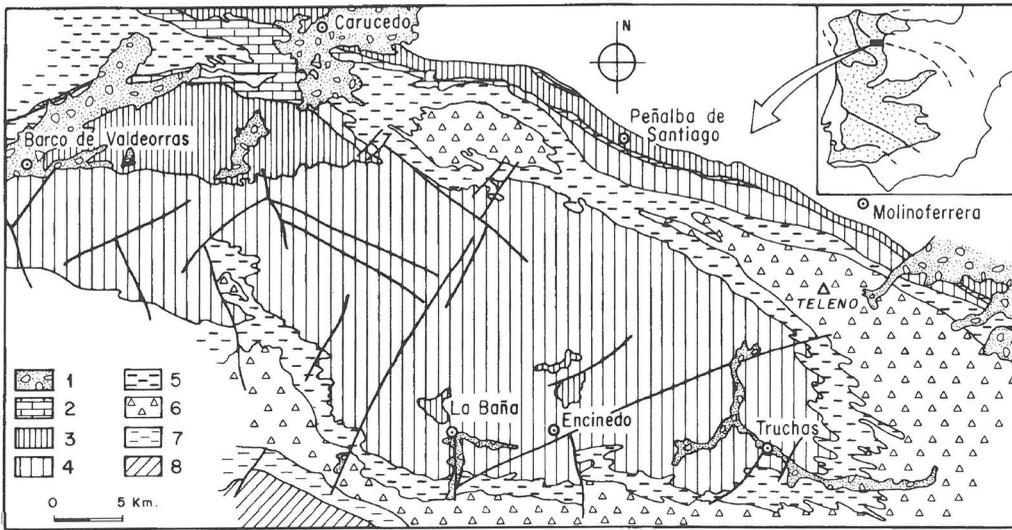


FIGURA 8. Mapa Geológico del Sinclinorio de Truchas (Galicia). Según M. Lombardero, J. García-Guinea, V. Cárdenes, 2002.

Leyenda del Mapa: 1: Sedimentos Terciarios y Cuaternarios 2: Caliza de La Aquiana (Ordovícico Superior). 3: Pizarras y cuarcitas ampelíticas (Siluricas). 4: Formaciones Losadilla, Rozadais, Casaio (Ordovícico Superior). 5: Formación de Pizarras de Luarca (Ordovícico Medio). 6: Formación de Cuarcita Armoricana (Ordovícico Inferior). 7: Formación de Pizarras de Los Montes (Ordovícico Inferior). 8: Formación meta-ígnea de Ollo de Sapo (Cambriano Inferior Ordovícico Inferior).



FIGURA 9. Pliegue en el sinclinorio de Truchas.

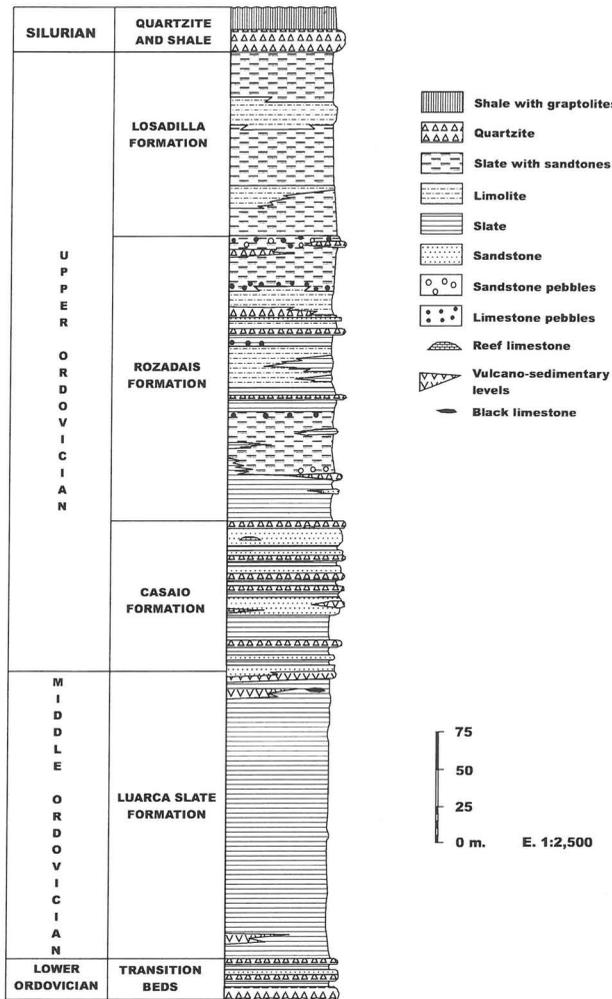


FIGURA 10. Columna estratigráfica del flanco sur del Sinclinorio de Truchas.

representada por la *Serie de Los Cabos* y las *Capas de Transición*, es predominantemente samítica, mientras que hacia el techo se hace mucho más pelítica. En esta parte superior, mucho más pizarrosa, se ubican las formaciones que albergan los más importantes yacimientos de pizarra; las *Pizarras de Luarca* a muro y sobre éstas, las formaciones *Casaio*, *Rozadais* y *Losadilla*. Hasta hace unos años, estas tres formaciones se asimilaban a la *Formación Agüeira* (Perez Estaún, 1976), aunque los datos de los que se dispone hoy en día indican que las tres formaciones pizarrosas del Sinclinorio de Truchas son correlacionables con la *Formación Agüeira*, sin ser la misma formación, definida esta en el Dominio del Navia-Alto Sil de la Zona Asturoccidental-Leonesa (Marcos, 1970, 1973; Pérez Estaún, 1978; Pérez Estaún-Marcos, 1981)). Sobre toda esta serie se disponen ampelitas y pizarras negras de edad Silúrica.

Fm. Pizarras de Luarca: Esta formación es una de las más importantes en cuanto a cantidad de canteras y reservas explotables. Está constituida por una monótona sucesión

de pizarras negras y grises con esporádicas laminaciones areniscosas centimétricas o decimétricas, más abundantes en su parte media y baja. Estas pizarras presentan un tamaño de grano de fino a medio y frecuentes sulfuros metálicos (pirita, pirrotina, etc) de formas y tamaños muy variados. Es frecuente la aparición de niveles vulcano-sedimentarios hacia el techo, y más esporádicamente a muro.

Su potencia es muy variable dentro del sinclinorio, debido al intenso plegamiento que afecta a la zona, pero ronda los 200 metros en flanco Sur (Barros, 1989) y oscila ente 135 y 300 metros en el flanco Norte (Fernández, 2001).

Fm. Casaio (Barros Lorenzo, 1989): Se trata de una serie areniscoso-cuarcítica con niveles pizarrosos intercalados, que resalta topográficamente de las infra y suprayacentes, mucho más pelíticas, al tiempo que es mucho menos productiva que éstas. Su potencia varía entre los 100 y los 350 metros. Aunque existe algún nivel explotable dentro de esta serie, su importancia económica es mucho menor que la de las Pizarras de Luarca o la Fm. Rozadáis.

Fm. Rozadáis (Barros Lorenzo, 1989): Esta formación es eminentemente pelítica, aunque presenta abundantes niveles con laminaciones centimétricas de arenisca y algún paquete cuarcítico de escala métrica intercalado. Dentro de esta formación es característica la aparición de niveles diamictíticos, formados por pizarras limolíticas grises o azuladas con frecuentes cantos calcáreos o incluso areniscosos. Dentro de esta formación se ubican varias canteras importantes de la zona por lo que, junto con las Pizarras de Luarca, constituyen la principal reserva de pizarra ornamental de calidad de la Península Ibérica.

Fm. Losadilla (Barros Lorenzo, 1989): Se trata de una monótona serie de pizarras laminadas muy característica. Estas laminaciones son generalmente centimétricas o decimétricas aunque hacia el techo y en el flanco Norte del sinclinorio llegan a aparecer tramos de intercalaciones de areniscas y cuarcitas (Fernández, 2001). Esta Fm. es casi en su totalidad improductiva y sólo se encuentra alguna cantera enclavada en esta serie en el flanco Sur del Sinclinorio de Truchas.

ESTRUCTURAS EN PIZARRAS

Las estructuras observables en el campo son: estratificación (*So*), foliación principal o pizarrosidad (*Sp* o *Si*), foliación de crenulación (*Sc*), kink-bands (*Kb*) y sus respectivas lineaciones de intersección entre *So/Sp*, *Sp/Sc* y *Kb/Sp* y fracturas (fallas y diaclasas). La estructura general de la zona a investigar pertenece a la rama Sur y central del Sinclinorio de Truchas. La estratificación se observa con claridad en los tramos mas arenosos o cuarcíticos, sin embargo en los tramos fundamentalmente pizarrosos, esta, solo es detectable en las delgadas intercalaciones arenosas o por el contraste en el tamaño de grano de la pizarra. Las medidas de orientación realizadas sobre las superficies de estratificación indican una dirección aproximada NO-SE e inclinación variable al S. Puntualmente existen algunas desviaciones en el rumbo y buzamiento de esta, atribuibles a otras etapas de deformación más tardías.

La pizarrosidad acompañante, principal en campo, presenta unos valores que se ajustan bien a los de la media regional, siendo el plano de fisibilidad natural de la roca. Se dispone espacialmente buzando al S o al SO. Las variaciones locales en los valores de la dirección y en el buzamiento de la pizarrosidad al igual que en el caso de la estratificación, son

debidas a estructuraciones tardías (foliaciones de crenulación, kink-bands, fallas, suaves replegamientos, etc). El grado de desarrollo de la pizarrosidad, o facilidad a la hienda, es función tanto de la litología afectada como del tamaño de grano y homogeneidad textural de la misma. Por lo general está bien desarrollada en las pizarras y de una forma muy incipiente en cuarcitas y areniscas.

Las fases tardías de crenulación, están representadas por estructuras menores tipo kink-bands y foliaciones espaciadas de crenulación. Las foliaciones de crenulación, suelen presentarse en bandas de intensidad variable, percibiéndose a veces el tránsito gradual de crenulaciones a kink-bands. Al igual que la pizarrosidad, estas foliaciones tardías de crenulación se desarrollan mejor en las litologías pizarrosas, pudiendo llegar a no mostrarse en cuarcitas y areniscas. Las fracturas son, normalmente, las estructuras mas modernas correspondiendo a los últimos períodos distensivos. Se han detectado tres familias principales de fallas y una de diaclasas.

Asociados a las fallas suelen encontrarse milonitas, segregaciones de cuarzo, etc, así como otras estructuras menores (crenulaciones, kink-bands) en las estructuras de mayor rango. Muchas de ellas se han reactivado, por lo que el salto o desplazamiento visibles no se corresponden con el original. Las fracturas pudieron haber rejugado durante la Orogenia Alpina por lo que el salto actual podría no corresponder solamente con los movimientos tardihercínicos.

En toda el área, de forma más o menos intensa, se manifiesta un sistema de diaclasado subvertical de dirección aproximada N-S. Localmente existen diaclasas subparalelas a las direcciones de las fallas principales o aprovechan los planos de debilidad generados por otras estructuras tardías, como pueden ser crenulaciones, kink-bands, etc.

FACTORES PETROLÓGICOS QUE DEFINEN LA CALIDAD DE LA PIZARRA

Están relacionados con la composición intrínseca de la roca y su estructura primaria, que a su vez está íntimamente asociada con el proceso de sedimentación, tipo de sedimentos y ambiente deposicional. Dentro de este grupo se pueden diferenciar una serie de factores:

Composición mineralógica

La pizarra es una roca metamórfica de bajo grado que se compone principalmente de cuarzo, filosilicatos (moscovita, clorita, illita y sericita) y plagioclasas, junto con una serie de minerales accesorios, como ilmenita, rutilo, circón, carbonatos, sulfuros de hierro y materia carbonosa, pudiendo presentar otros minerales como secundarios. Las proporciones de estos minerales en pizarra para cubiertas oscilan entre 17-45 % para el cuarzo, 40-70 % para los filosilicatos y 2-25% para las plagioclasas, mientras que otros minerales, como el cloritoide, los sulfuros de hierro y los carbonatos pueden estar en concentraciones cercanas al 10%. Estos dos últimos grupos de minerales son perjudiciales para la pizarra, ya que su descomposición en las placas de pizarras una vez colocadas ocasiona manchas y alteraciones indeseables e incluso la perforación de las placas. Los procesos bioquímicos que producen la oxidación son muy rápidos, y pueden llegar a arruinar un tejado en pocos meses. En el caso de los sulfuros de hierro el problema reviste una especial importancia, ya que son muy abundantes en prácticamente todos los afloramientos pizarrosos. Dos son las formas predominantes de sulfuros de hierro, pirita y pirrotina, entre otras muchas (mar-

casita, calcopirita, arsenopirita, etc.). La pirita es un mineral cúbico, con fórmula FeS_2 , que en las pizarras se presenta en forma de cubos con aristas entre 2 y 20 milímetros, formando agregados o aislados en la masa de pizarra. Estos cubos de pirita no presentan un alto grado de oxidación, ya que la estructura es muy estable y ordenada, pero tienen el problema de que perforan la placa impidiendo un exfoliado aceptable. La pirrotina ($Fe_{1-x}S$) tiene una estructura cristalina mucho más desordenada, apareciendo normalmente en las pizarras como lentejones y escamas, frecuentemente relleno de conchas fósiles (generalmente gasterópodos y bivalvos), con tamaños muy variables (0,5 – 60 milímetros). La pirrotina tiene una mayor vulnerabilidad frente a la oxidación, por lo que es el más perjudicial de los sulfuros de hierro presentes.

Tamaño de grano y homogeneidad textural

El tamaño de grano de las pizarras de techar es muy fino, por lo general suele estar por debajo de los 75 μm , distinguiéndose entre pizarras de grano fino (<30 μm), grano medio (30-50 μm) y grano grueso (>50 μm). En general, las pizarras de grano fino exfolian mejor, pero la homogeneidad del tamaño de grano es un factor determinante, ya que cuanto más dispersión haya en el tamaño de los granos, peor respuesta a la hienda tendrá la pizarra. Así, las pizarras de grano grueso homogéneo pueden llegar a tener una fisibilidad mayor que las pizarras de grano fino más heterogéneas (por ejemplo, que contienen microporfiroblastos o microclastos de mayores dimensiones que la media del tamaño de grano)

Intercalaciones arenosas

Son niveles o capas muy delgadas intercalados en la pizarra, con mayor contenido en granos de cuarzo y mayor tamaño de grano, que corresponden a etapas de aporte de arenas de cuarzo durante la sedimentación de las arcillas que posteriormente formarán la pizarra. Su aparición en un yacimiento puede llegar a hacerlo inexplorable, dependiendo de la cantidad, espesor y espaciado con los que se dispongan.

FACTORES TECTÓNICOS QUE DEFINEN LA CALIDAD DE LA PIZARRA

Controlan la estructura de la roca, se trata de los agentes implicados en las deformaciones tectónicas. La geología del sinclinal de truchas es sumamente complicada, y es aún objeto de grandes controversias. En el Sinclinal de Truchas se observan dos fases de deformación hercínica, la primera y la tercera, estando ausente la segunda (Pérez-Estaún, 1976). Las formaciones pizarrosas ordovícicas están afectadas regionalmente por la primera fase de deformación (primera fase hercínica), y localmente por una segunda (tercera fase hercínica). Como resultado de estas deformaciones, se generaron una serie de estructuras que influyen directamente en la calidad de los yacimientos:

Pizarrosidad

Es un tipo particular de foliación lepidoblástica desarrollado sobre rocas de grano muy fino, en este caso sobre las arcillas que dieron lugar a la pizarra, a favor de la cual se produce

el exfoliado de las placas de pizarra, y que corresponde a la primera fase de deformación Varisca. Los planos que genera se conocen como S_1 , mientras que la estratificación sedimentaria se conoce como S_0 . Es la estructura más importante de la pizarra y la que permite el proceso de hienda.

Lineación de intersección S_1/S_0

La intersección de estas dos familias de planos en el espacio genera una familia de líneas visibles sobre los planos de exfoliación (S_1). En pizarras masivas, sin laminaciones arenosas, esta lineación puede ser muy tenue o incluso no llegar a observarse. La lineación genera una anisotropía estructural en el bloque de pizarra que ha de ser tenida en cuenta a la hora de serrar el mismo. Generalmente se sierra este de tal manera que la lineación coincida con la altura o lado mayor de la placa de pizarra, lo que otorga a ésta mayor resistencia mecánica.

Pliegues tipo kink, o kink-bands (Ramsay 1977)

Así denominados por su geometría característica en bandas. Se forman debido a una compresión que actúa sobre una roca que presente una anisotropía previa la roca formando un cierto ángulo con los planos S_1 , que se pliegan y adoptan un aspecto escalonado. Este tipo de pliegues inutiliza la pizarra para su explotación, ya que producen desde ondulaciones de las placas hasta trituración de la roca, dependiendo de su grado de desarrollo en los flancos. Además y por encontrarse formando bandas, constituyen un plano de debilidad sobreimpuesto que puede originar la rotura de la placa.

Crenulación

Se desarrolla de un modo similar a los kink-bands, como respuesta a una deformación posterior de una roca que presenta una anisotropía previa, en este caso se interpreta como debida a la tercera fase de deformación Varisca. La crenulación es otro tipo de foliación no continua (se presenta en dominios) que provoca pequeñas ondulaciones sobre las superficies S_1 que dificultan el exfoliado de la placa e incluso llegan a romperla, impidiendo el aprovechamiento de los yacimientos as canteras que se ven afectadas por esta.

Fracturas o diaclasas en la roca

Que aparecen como líneas de rotura muy finas que pueden estar rellenas o no, principalmente por cuarzo o carbonatos (u otros minerales) y que producen la rotura de la placa durante el exfoliado o que las placas sean desechadas durante el proceso de selección. Este tipo de irregularidades son difíciles de ver si no hay unas condiciones de iluminación apropiadas.

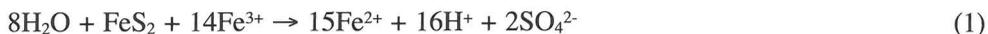
En la elaboración y calidad final de la placa de pizarra, los factores de tipo petrológico y petrográfico tienen una mayor importancia que los de tipo tectónico, ya que estos últimos conciernen mas específicamente a las labores de arranque y extracción en cantera debido a que los bloques con este tipo de defectos son desechados a simple vista o suelen romper en alguna de las fases de su manipulación.

OXIDACIÓN DE LOS SULFUROS DE HIERRO EN PIZARRAS PARA TECHAR

La oxidación de los sulfuros de hierro de la pizarra empieza en el momento en que se extrae la roca de la cantera. Este fenómeno ha sido ampliamente estudiado como un problema medioambiental de emisiones ácidas desde minas y escombreras de carbón. Los procesos oxidativos de los sulfuros de hierro han sido muy estudiados, por ejemplo, Bonn y Heijnen (1998) proponen un mecanismo químico – bacteriano de oxidación de los sulfuros de hierro que empezaría mediante la oxidación química de los mismos por el Fe^{3+} , regenerándose este una vez agotado mediante la acción del *Leptospirillum ferrooxidans*. Sin embargo, Holmes y Crundwell (1999) otorgan mayor importancia a los procesos oxidativos netamente químicos llevados a cabo por efecto del Fe^{3+} y el oxígeno disuelto en el medio, mientras que Schaufuß et al. (1998) destacan el papel de las fracturas en la superficie del cristal durante estos procesos. Dimitrijevic et al. (1998) determinan la tasa de oxidación de los sulfuros de hierro en peróxido de hidrógeno en función de la temperatura, tamaño de la partícula y la concentración del peróxido de hidrógeno. Thomas et al. (2000) intentan explicar los cambios repentinos en la tasa de oxidación de la pirita en soluciones ácidas en función de la temperatura, siendo esta disolución óptima a 40 °C.

Evangelou, profesor de agronomía en la Universidad de Iowa de origen griego, publica en 1995 un libro, “Pyrite oxidation and its control” que recoge gran parte de las investigaciones publicadas hasta la fecha en materia de oxidación de la pirita e inhibición de la misma. Para entender los mecanismos y cinética de la oxidación de los sulfuros de hierro hay que estudiar con detalle su cristalografía.

En este apartado, vamos a considerar preferentemente la pirita, ya que es el sulfuro de hierro más común y mas estudiado. Los cristales de piritas en pizarras suelen tener unas dimensiones que oscilan entre las 5 y 400 μm , y hábitos cristalinos variando entre cúbicos y poliédricos. En la celda unidad de la pirita, cada Fe^{2+} se rodea por seis S^{2-} , y viceversa. Su estructura molecular presenta una querencia por dos electrones que es determinante a la hora de entender los mecanismos de oxidación. El hierro aparece en la naturaleza como Fe^0 metal (por ejemplo, en meteoritos), como Fe^{2+} y como Fe^{3+} , reaccionando cada Fe de forma distinta función de su carga, ya que cada especie rellena su orbital externo de forma distinta. El Fe^{2+} reacciona con el bisulfuro S_2^{2-} formando un enlace covalente relativamente fuerte, FeS_2 , mientras que el Fe^{3+} no puede rellenar su orbital exterior, ya que necesita de tres electrones, dos que le cede el bisulfuro, y otro mas que le arrebatada desestabilizando el propio enlace covalente del bisulfuro. La transferencia electrónica continúa hasta que se alcanza el equilibrio, que en presencia de Fe^{3+} será el SO_4^{2-} para el S, según la reacción



La oxidación de la pirita es una reacción controlada principalmente por la superficie efectiva del cristal, la dispersión de las partículas del mineral en la matriz rocosa y el tamaño de los mismos. Las reacciones de oxidación se encuentran controladas ambientalmente por la acidez del medio, a pH bajos - neutros el principal oxidante de la pirita es el Fe^{3+} , mientras que para pH mayor que 7 es el O_2 . El Fe^{3+} es mucho más eficaz como oxidante, ya que es capaz de adherirse químicamente a la superficie del cristal, al tener una vacancia orbital más que el Fe^{2+} , mientras que el O_2 no puede adherirse a la superficie del cristal.

Pautas de oxidación en función del tipo de sulfuro de hierro

El principal factor que determina la tasa de oxidación de una placa de pizarra no solo es la cantidad de sulfuros de hierro que contiene, sino también depende del tipo de sulfuro de hierro concreto del que se trate. Las proporciones en las que se encuentran los dos elementos (Fe y S) en la composición de los sulfuros de hierro son variables, pudiendo además entrar pequeñas proporciones de otros minerales como el Zn, As o Cu en su composición. Las proporciones Fe / S determinan, junto con otros factores, la estructura atómica del mineral. Las dos fases de sulfuros de hierro más comunes en las pizarras para cubiertas, pirita y pirrotina, poseen distintas estructuras atómicas que influyen en su comportamiento frente a la oxidación.

Fórmula	Especie	% Fe	% S	% X
$Fe_{(1-x)}S$	Pirrotina	62,33	37,67	
$(Fe,Ni)_9S_8$	Mackinawita	49,24	33,51	17,25 Ni
FeS_2	Pirita	46,55	53,43	
FeS_2	Marcasita	46,55	53,45	
Fe_5S_4	Greigita	46,55	53,45	
$FeAsS$	Arsenopirita	34,3	19,69	46,01 As
$CuFeS_2$	Calcopirita	30,43	34,94	34,63 Cu
$(Ni,Fe)S_2$	Bravoita	11,43	52,52	36,05 Ni

La pirita posee una estructura cúbica bastante estable, ya que se tiene una red cúbica con fuertes enlaces químicos entre sus átomos, los átomos de S están fuertemente ligados con los de Fe mediante enlaces de tipo covalente. La pirrotina presenta un comportamiento diferente, ya que su estructura hexagonal es más inestable con peores uniones de átomos Fe y S. La pirrotina aparece en los más variados aspectos, frecuentemente como masas irregulares o amorfas. Estas masas están constituidas por framboides microscópicos, presentando una gran superficie específica frente a la acción de los procesos oxidativos.

Por lo tanto, es muy importante determinar los tipos mineralógicos de sulfuros de hierro presentes en las pizarras para cubiertas, ya que de ello dependerá la oxidación que sufrirán las placas de pizarra una vez colocadas en el tejado. Desde los comienzos mismos de la explotación de la pizarra para cubiertas, los canteros han venido utilizando diversos métodos para distinguir entre "*pirita de hierro*" (pirrotina) y "*pirita de plata*" (pirita), ya que desde siempre los trabajadores del sector conocen el distinto comportamiento oxidativo de ambas. Las condiciones ambientales para que los sulfuros de hierro oxiden dependen de muchos factores, pero el principal requisito es que el medio sea ácido (pH comprendido entre 2 y 4).

Diferenciación de sulfuros en pizarras

El método más común, muy empleado hoy en día, es el examen de muestra de mano de los sulfuros de hierro presentes en la placa. Una persona observadora con buen conocimiento de la pizarra puede llegar a determinar los sulfuros de hierro presentes con más o menos acierto, siendo este método el más rudimentario y el que necesita menos aparatos, ya que

con una simple lupa de ocho o diez aumentos se pueden conseguir aproximaciones razonables. Se trata de una forma de determinar los sulfuros de hierro poco objetiva pero que tiene su utilidad. Mediante un examen a la lupa, los sulfuros de hierro se pueden clasificar en función de su aspecto, hábito y color, de la siguiente forma (Cárdenes 2002).

1) *Cubos*

Los sulfuros de hierro se presentan en formas cúbicas fácilmente reconocibles, con tamaños que oscilan entre 1 y 10 milímetros de arista. Estos cubos suelen ser de pirita, aunque en algunas muestras sus relaciones S / Fe son las propias de la pirrotina, posiblemente debido a cambios pseudomórficos. Suelen tener color dorado-amarillento.

2) *Framboides cúbicos.*

Se observan agregados macroscópicos framboidales que a la lupa de ocho aumentos se ve que están compuestos por formas cúbicas. Tienen colores plateados y suelen ser de pirita, aunque en algunos casos también pueden ser de pirrotina.

3) *Fósiles.*

Se encuentran gran cantidad de fósiles en determinados niveles de las formaciones Pizarras de Luarca y Casaio, y ocasionalmente en las formaciones Rozadais y Losadilla. La fauna se compone principalmente de bivalvos, gasterópodos y algún resto de cefalón de trilobite (comunicación oral J.C. Barros). Gutiérrez et al. (1999) clasifican los moldes internos de bivalvos encontrados en la Formación Casaio como pertenecientes al género *Orthacea* sp. Normalmente de pirita.

4) *Motas.*

Los sulfuros de hierro se encuentran diseminados por la pizarra, en pequeñas formas ovoides de pocos milímetros de longitud. Estas motas son de pirrotina y es uno de los sulfuros de hierro más dañinos para la placa de pizarra, ya que oxida muy rápida y abundantemente.

5) *Pátinas.*

Son zonas donde se ha depositado el sulfuro de hierro de forma uniforme. Son de pirita y no presentan un gran problema, ya que resisten bien los factores atmosféricos. Sin embargo, estéticamente son perjudiciales para la placa de pizarra ya acabada.

6) *Filonas.*

Los sulfuros de hierro rellenan fracturas en la pizarra, junto con intrusiones de cuarzo. Son de pirita y no representan problema para la industria, ya que la misma intrusión de cuarzo hace inservible el nivel y por lo tanto no llegan a la cadena de producción, desechándose en cantera.

7) *Canto negro.*

Zonas de color oscuro en la pizarra que responden a una mayor acumulación de materia orgánica durante la sedimentación. Estos cantos negros llevan diseminados dentro de sí sulfuros de hierro que pueden ser pirita o pirrotina, y tienen una alta tasa de oxidación.

8) *Lentejones.*

Sulfuros de hierro amorfos, de color brillante, con tamaños comprendidos entre los 2 y 20 milímetros, compuestos de pirrotina y / o pirrotina, con tendencia a la oxidación. Se presentan intercalados entre los planos S_1 .

Un método frecuentemente utilizado en el sector pizarrero es sumergir las placas en agua con sal o como se hacía antiguamente, orinar encima de ellas. Las soluciones salinas tienen un elevado electrolito de fondo que cede un electrón al sulfuro de hierro, oxidando el Fe^{+2} hacia Fe^{+3} , y una vez que hay una concentración suficiente de Fe^{+3} en la solución se empieza a producir la reacción oxidativa. Este método se complementa con el examen en muestra de mano, llegando a predecir razonablemente la tipología del sulfuro de hierro y su futuro comportamiento en el tejado frente a los procesos oxidantes. También se puede utilizar peróxido de hidrógeno (H_2O_2) diluido al 5% para preoxidar la muestra, consiguiendo imitar muy bien el comportamiento de una placa de pizarra frente a una oxidación natural. En este texto se omiten métodos clásicos de identificación de sulfuros utilizados habitualmente por investigadores mineralogistas de universidades y centros de investigación, por inaccesibles y costosos para los trabajadores del sector pizarrero, como por ejemplo, microscopios electrónicos con EDS y WDS, microsondas, microscopios metalogenéticos de polarización con reflectómetros, micro-durímetros, microscopios raman, difracción y fluorescencia de rayos X, espectrometrías fotoelectrónicas de rayos X, etc.

Ciclos de choque térmico según Norma UNE – EN 12326 – 2.

Se trata del ensayo estándar utilizado por el Comité Europeo de Normalización (CEN). Se somete a las placas de pizarra a un proceso acelerado de oxidación que en veinte días permite predecir el comportamiento oxidativo de las pizarras con un margen de confianza elevado. No persigue determinar el tipo de sulfuro de hierro, se centra exclusivamente en observar el comportamiento. El ensayo consta de veinte ciclos de 24 horas. Primero se sumergen las muestras en agua destilada durante seis horas, secándose posteriormente en una estufa a $110^\circ C$ durante 17 horas, al término de las cuales se dejan una hora enfriando. Estos procesos conforman un ciclo de choque térmico. Cada cinco de estos ciclos se examina la superficie de las pizarras con la ayuda de una lupa, examinando las posibles alteraciones que haya podido sufrir debido a la presencia de minerales metálicos. Al final de los veinte ciclos se examinan detenidamente las muestras, otorgándoles un grado de alteración siguiendo una escala definida en UNE - EN 12326 – 2.

GRADO ALTERACIONES

- | | |
|----|--|
| T1 | Oxidaciones alrededor de los minerales metálicos sin chorreo |
| T2 | Oxidaciones alrededor de los minerales metálicos con chorreo |

- T3 Oxidaciones alrededor de los minerales metálicos con chorreo y riesgo de perforación de la placa.

El ensayo de choque térmico permite conocer el comportamiento a corto y medio plazo de las pizarras una vez colocadas en la cubierta, por lo que se recomienda su uso. Además, tiene la ventaja de que es el ensayo tipo aprobado por el Comité Europeo de Normalización. Sin embargo, tiene el inconveniente de una larga duración del ensayo.

Inhibición de la oxidación de los sulfuros de hierro

La inhibición del proceso de oxidación natural de un sulfuro de hierro en una pizarra en un tejado es un proceso contra-natura extremadamente difícil. Existen exploraciones de soluciones *geológicas*, por ejemplo, buscando nuevos yacimientos de pizarras con menos sulfuros; de soluciones *mineras*, por ejemplo marcando bloques en cantera que tienen mucha pirita y que no deben ser procesados; de soluciones *biológicas*, por ejemplo, desactivando la acción bacteriana; de soluciones *químico-orgánicas*, recubriendo las pizarras con resinas; de soluciones *químico-inorgánicas*, por ejemplo, pre-oxidando y recubriendo con compuestos inorgánicos; de soluciones *arquitectónicas-constructivas*, por ejemplo, cambiando las pizarras deterioradas; etc, pero finalmente, los procesos naturales de oxidación, lluvia, radiación UV, etc, siempre acaban por oxidar los sulfuros. Las soluciones actuales más comunes al problema de la oxidación son cambiar las piezas alteradas de la cubierta o aplicar algún tipo de producto sobre la superficie de la losa de pizarra. El uso de siloxanos o resinas sintéticas ha sido investigado en la protección de ejemplares de pirita (Costagliola et al. 1997) en museos con buenos resultados frente a la acción de los rayos ultravioletas. En la actualidad hay abierta una línea de investigación sobre el uso de productos industriales en

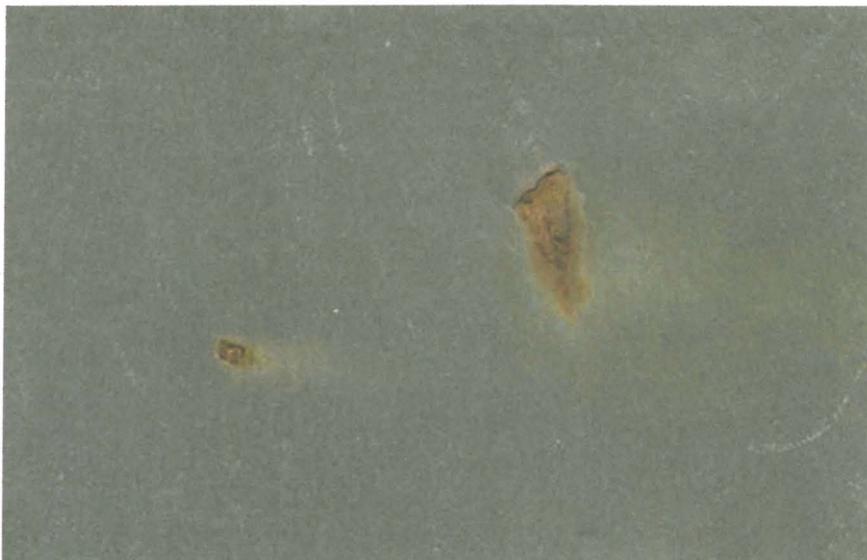


FIGURA 11. Sulfuros de hierro alterados después de 20 ciclos de choque térmico. El grado correspondería a T2.

el recubrimiento de placas de pizarra para techar. Junto con las empresas proveedoras de productos químicos específicos para roca ornamental, se está comprobando la viabilidad de los diferentes productos existentes hoy en día en el mercado para su uso en pizarras para techar. Hay que tener en cuenta que la pizarra es una roca con una marcada anisotropía estructural, que le confiere la pizarrosidad. La misma propiedad que hace de ella un material excelente para el revestimiento de cubiertas impide que los tratamientos químicos penetren en su interior y puedan proteger los sulfuros de hierro frente a las agresiones del medio. Sin embargo, la tecnología hoy en día ha avanzado lo suficiente como para solucionar este problema, y hay además un interés manifiesto por parte de los productores y las empresas químicas a la hora de conseguir un producto de este tipo.

APERTURA DE UNA NUEVA EXPLOTACIÓN DE PIZARRA PARA CUBIERTAS

Además de tener en cuenta todos los factores de calidad y problemas antes mencionados, el paso previo antes de abrir una explotación de pizarra para cubiertas es la caracterización del macizo rocoso (Barros, 1985), que se suele hacer en cuatro fases:

- *Fase de documentación*: Se recopila toda la información posible (estudios previos, cartografías, etc) sobre la zona potencial a investigar y se delimitan las zonas de investigación preferente.

- *Fase de exploración regional*: Se estudia y muestrea la zona elegida, elaborando para ello cartografías a escala 1:10.000 o 1:5.000, acotando las zonas de mayor interés. Se pretende definir tanto la serie estratigráfica presente en la zona y las variaciones de la misma, como la estructura geológica que afecta a los materiales existentes. Se efectuará una primera evaluación de las potenciales reservas existentes, así como su calidad y características principales.

- *Fase de investigación*: En las zonas seleccionadas en la fase anterior se realiza una cartografía a escala 1:2.000 o mayor, incidiendo en un estudio estructural mucho más detallado y de aquellos otros factores que inciden en la calidad de la pizarra, apoyados por sondeos con recuperación de testigo continuo. En esta fase se evaluarán ya las reservas existentes así como la calidad de las mismas y sus posibles variaciones. Se definirá la estructura geológica de detalle y la estratigrafía del nivel o niveles potencialmente explotables, así como la presencia de zonas improductivas o las variaciones de calidad de la capa explotable. El objetivo es la apertura de un pequeño frente experimental que demuestre la existencia y la calidad del recurso, acompañado de aquellos otros documentos técnicos que aborden el estudio de viabilidad económica de la potencial explotación. Se recogen muestras en cantera que son llevadas a la nave para poder comprobar *in situ* su fisibilidad.

- *Fase de estudio de la fisibilidad*: Se efectúan ensayos geotécnicos sobre el material en puntos seleccionados que sean suficientemente representativos del conjunto. Si estos estudios de calidad son satisfactorios, se puede empezar la explotación. La composición y textura de las pizarras para techar es la típica de rocas pelíticas sometidas a metamorfismo regional de la facies de los esquistos verdes. Las pizarras que sobrepasan la isograda de la biotita no son adecuadas pues presentan una mala fisibilidad, siendo la isograda de la clorita la ideal. Cuando la pizarra de grano fino laja bien se pueden observar unas irisaciones sobre la superficie plana, que son fragmentos de filosilicatos que se distribuyen en forma de círculos simétricos sobre la superficie de foliación de la pizarra fina. Además de la composición,

tamaño y morfología de los cristales de las distintas fases minerales que están presentes en la pizarra, hay que considerar los condicionantes estructurales que afectan a la roca tanto a escala de macizo rocoso como de roca libre de discontinuidades mecánicas o roca-matriz. La pizarra - matriz ideal para techar presenta sobre la superficie de foliación una lineación, que en el argot minero se denomina hebra, resultado de una intersección entre el plano de clivaje y la laminación sedimentaria de la pizarra. Si la hebra es completamente recta, la laja de pizarra también será perfectamente plana. El aprovechamiento óptimo de la pizarra en banco se consigue si los bancos de pizarra se cortan paralelos a la hebra. Si la hebra tiene un trazo curvo quiere decir que la laja no es plana y por tanto la pizarra no vale para techar.

EL PROCESO PRODUCTIVO DE PIZARRAS

El proceso de selección del material se realiza en varias etapas. La primera empieza en la cantera, donde se extrae el rachón (grandes bloques de pizarra extraídos del banco de explotación) utilizando hilo diamantado para la realización de los cortes necesarios para la extracción de estos bloques, método que ha ido sustituyendo al arranque con explosivos, aunque este último aun se utiliza ocasionalmente. Una vez serrados y delimitados los bloques, se procede a su extracción y arranque por medios mecánicos (pala cargadora o retroexcavadora), y una vez obtenido el rachón, se carga en camiones con dirección a las naves de serrado y labrado.

La primera separación de las diferentes calidades se realiza en las naves de serrado, ya que del mismo rachón se pueden obtener tochos (trozo de pizarra ya serrada que puede manipularse) de distintas calidades. Es aquí donde prima el criterio del serrador a la hora de decidir como se va a serrar un rachón de forma que se pueda aprovechar al máximo, evitando introducir rachones defectuosos en la cadena en la medida de lo posible. En el lenguaje propio de los labradores (operarios que exfolian la pizarra), se distinguen dos tipos de pizarra dependiendo de su aptitud a la hienda, la pizarra “fina”, que exfolia bien, y la pizarra “seca” que suele presentar escalones y roturas durante el proceso de hienda o exfoliado. Posteriormente, en la nave de labrado, los labradores (operarios que exfolian la pizarra) desechan los tochos que presenten defectos, exfoliando los buenos. Es necesario mantener los tochos sumergidos en agua una vez cortados por la sierra para que no pierdan fisibilidad (García-Guinea et al. 1998, 2000). A continuación, los cortadores van recortando las placas exfoliadas utilizando una tijera accionada con el pie o de mediante un mecanismo neumático, o bien con máquinas específicas para cortar pizarra, según las plantillas que se estén fabricando en el momento. El último eslabón del proceso productivo lo conforman los embaladores, que al tiempo que van embalando las losas de pizarra ya acabadas en las paletas, controlan la calidad y eliminan aquellas placas que presenten defectos. Finalmente, en el almacén, estas paletas pasan otra revisión por parte del encargado de control de calidad.

En el mercado existen gran variedad de calidades comerciales, que se pueden agrupar en tres grupos comerciales fundamentales de pizarra para cubiertas, primera, estándar y económica. Los criterios de calidad (acabado de la pieza, inclusiones de minerales metálicos, etc) que hacen que una pizarra pertenezca a un grupo u otro son muy variados y se toman en conjunto. Una pieza que en un determinado mercado es primera calidad, en otro mercado puede ser simplemente rechazada. Al final es el propio mercado el que selecciona los productos que consume. El proceso de selección del material se realiza en varias etapas.

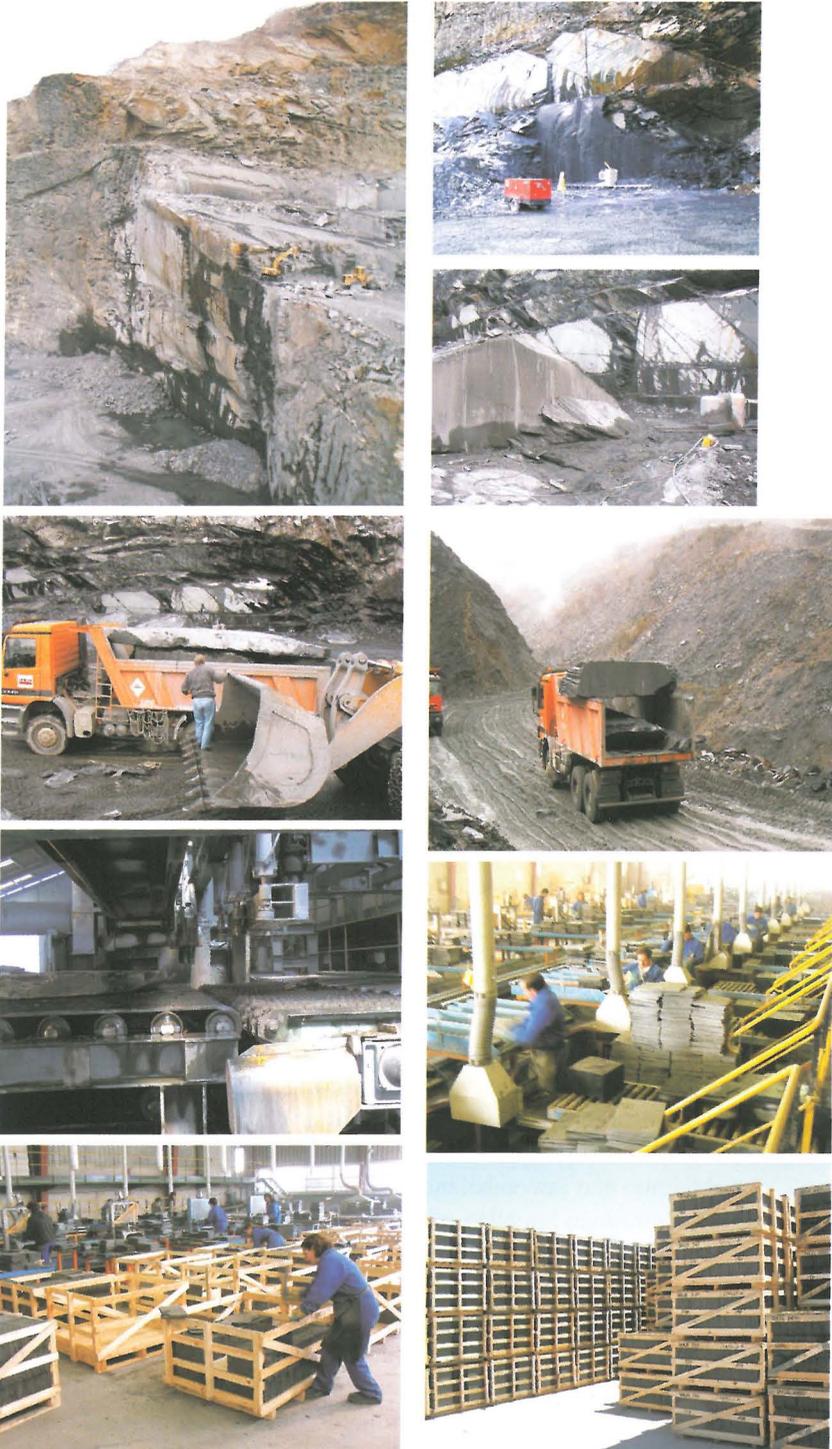


FIGURA. 12. *Extracción , transporte y embalaje de la pizarra.*

Una primera separación de las diferentes calidades se hace en las naves de labrado, donde los labradores desechan los primeros productos que presentan defectos. A continuación, los clasificadores van controlando la calidad y eliminando aquellas placas que presentan defectos, al tiempo que las embalan en pallets. Posteriormente, en el almacén, estos pallets pasan otra revisión por parte del encargado del control de calidad. Los factores que controlan la calidad del producto final son principalmente de carácter geológico, y se pueden englobar en dos grupos: factores petrográficos y petrológicos, y factores tectónicos o estructurales.

GLOSARIOS DE TÉRMINOS UTILIZADOS POR LOS PIZARREROS DE GALICIA

- Caídas**: pequeños trozos del rachón una vez serrado que se pueden aprovechar para elaborar placas de dimensiones más pequeñas.
- Chaflán**: diaclasas que forma un ángulo muy bajo con la S_1 .
- Clavos**: nódulos arenosos o cuarcíticos centimétricos que se sitúan en los planos S_1 , provocando abultamientos en la superficie de la placa.
- Bregada**: pliegues tipo Kink-band.
- Burro**: zona de pizarra no aprovechable.
- Ferreño**: niveles de areniscas o cuarcitas.
- Flores**: piritita, pirrotina laminar muy fina, o carbonatos sobre los planos de S_1 que al oxidarse produce manchas que recuerdan a una flor.
- Freba o Hebra**: lineación de intersección S_1/S_0 .
- Panilla**: crenulación suave, cuyo aspecto recuerda al de la pana.
- Pelo o Hilo**: diaclasa muy fina rellena de cuarzo cristalino que no se distingue a simple vista, generalmente perpendicular a S_1 y que produce la rotura de las placas.
- Pizarra quemada**: pizarra con planos negros y brillantes que forman un ángulo muy bajo con la S_1 .
- Rachón**: bloque de pizarra de grandes dimensiones tal y como se extrae en cantera o en mina.
- Rayela**: crenulación intensa que rompe los planos S_1 .
- Refollos**: descamaciones producidas en la superficie de la placa.
- Rucios**: intercalaciones o laminaciones arenosas.
- Tocho**: bloque de pizarra ya serrado que es exfoliado directamente por los labradores.
- Lousa**: placa de pizarra, en contraposición al término teja que se utiliza para designar las placas de materiales arcillosos y cerámicos.
- Seixo o Xeixo**: dique de cuarzo. Proviene del latín *Saxum*.

BIBLIOGRAFÍA

- Barros, J. C., Castaño, M., Hacar, M., Lombardero, M., Olmo, A. (1985). Metodología de investigación de los yacimientos de pizarras para cubiertas. *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico Laxe* 10: 429-444.
- Barros, J.C. (1989). Nuevos datos geológicos y cartográficos sobre el flanco Sur del Sinclinatorio de Truchas. *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico Laxe* 14: 93-116.
- Belzile, N., Maki, S., Chen Y. W., Goldsack, D. (1997). Inhibition of pyrite oxidation by surface treatment. *Science of the Total Environment* 196 (2): 177-186.

- Blanco, M., Taboada, J., Martínez-Alegría. (1988). Incidencia de las características mineralógicas y texturales en algunas propiedades de las pizarras de techar. *Cuadernos Laboratorio Xeolóxico Laxe* 14: 247-254.
- Boon, M., Heijnen, J. (1988). Chemical oxidation kinetics of pyrite in bioleaching processes. *Hydrometallurgy*, 48: 27-41.
- Cárdenes Van Den Eynde, V., Lombardero Barceló, M., García-Guinea, J., Barros Lorenzo, J.C. (2001). Factores de calidad en la elaboración de placas de pizarra para cubiertas en Galicia y León. *Roc Maquina* 67: 90-98.
- Cárdenes Van Den Eynde, V., Lombardero Barceló, M., García-Guinea, J., Pais Diz, V. (2002). Determinación de sulfuros de hierro en pizarras para cubiertas. *Roc Maquina* 77: 90-98.
- Costagliola, P., Cipriani, C.; Delfa, C.M. (1997). Pyrite oxidation: protection using synthetic resins. *European journal of mineralogy* 9(1): 167-174.
- Dimitrijevic, M., Antonijevic, M. M., Dimitrijevic, J. (1999). Investigation of the kinetics of pyrite oxidation by hydrogen peroxide in hydrochloric acid solutions. *Minerals Engineering* 12: 165-174.
- Evangelou, V.P. (1995). Potential microencapsulation of pyrite by artificial inducement of ferric phosphate coatings. *Journal of environmental quality*. 24 (3): 535-542.
- Evangelou, V.P. (1995). *Pyrite Oxidation and its Control*. CRC Press. London. 304 pags.
- Fernández, F. J. (2001). Características estratigráficas y estructurales del margen noroccidental del Sinclinorio de Truchas: Geología aplicada a la prospección y explotación de pizarras para techar. *Rev. Soc. Geol. España* 14 (3-4): 161-173.
- García-Guinea, J. Cárdenes, V. Lombardero, M., Desiloniz, M.L. (2002). Determinación de sulfuros de hierro en pizarras para cubiertas del Noroeste de España. *Materiales de Construcción* 52 (266): 55-63.
- García-Guinea, J., Lombardero, M., Roberts, B., Taboada, J. (1997). Spanish Roofing Slate Deposits. *Transact. Inst. Min. Metallur.*; Section B. IMM. V. 106: 205-214.
- García-Guinea, J., Lombardero, M., Roberts, B., Peto, A. (1998). Mineralogy and microstructure of roofing slate: Thermo-optical behaviour and fissility. *Materiales de Construcción* 48 (251): 37-48.
- García-Guinea, J., Cárdenes, V., Correcher, V., Delgado, A., Lombardero, M., Barros J. C. (2000). Dehydroxylation and Ostwald ripening effects in roofing slates. *Cerámica y Vidrio* 39-3: 589-594.
- García Tato, I. (1994). A Explotación Louxeira no Concello de Carballeda. *Cuaderno Monográfico nº 16, Instituto de Estudios Valdeorreses*: 155-454.
- Georgopoulou, Z. J., Fytas, K., Soto, H., Evangelou, B. (1996). Feasibility and cost of creating an iron – phosphate coating on pyrrhotite to prevent oxidation. *Environmental Geology* 28 (2): 61-69.
- Gurruiarán, R. (2000). *Da Prerromanización ao Wólfram: Apuntamentos Históricos das explotacións Míneras en Valdeorras*. Edición de Ricardo Gurriarán, financiada por Grupo Cupire – Padesa. Sobrado de Valdeorras (Orense).
- Gutiérrez-Marco, J. C., Rábano, I., Gómez, G., Hacar, M. P. (1988). Revisión bioestratigráfica de la sucesión ordovícico-silúrica del sector meridional de la Zona Asturoccidental-Leonesa (prov. de Ourense y León, NO. de España). *X Reunión de Xeoloxía e Minería do NO. Peninsular*. Resúmenes de la publicación. Laboratorio Xeolóxico de Laxe. Abstracts: 36.

- Gutiérrez-Marco, J. C., Aramburu C., Arbizu M., Bernárdez E., Hacar M. P., Méndez-Bedia I., Montesinos R., Rábano I., Truyols J., Villa E. (1999). Revisión Bioestratigráfica de las pizarras del Ordovícico Medio en el Noroeste de España (zonas Cantábrica, Asturoccidental - Leonesa y Centroeibérica septentrional). *Acta Geológica Hispana* 34: 3-87.
- Hacar, M., Gutiérrez-Marco, J. C. (2003). Discusión del artículo “Características estratigráficas y estructurales del margen noroccidental del Sinclinorio de Truchas: Geología aplicada a la prospección y explotación de pizarras para techar”. *Rev. Soc. Geol. España* 16 (1-2): 111-121.
- Harries, J. R., Ritchie, A. I. M. (1998). Passivation of pyrite oxidation with metal-cations. *Journal of Materials Science* 22 (10): 3503-3507.
- Holmes, P., Crundwell, P. (2000). The kinetics of the oxidation of pyrite by ferric ions and dissolved oxygen: An electrochemical study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64 (2): 263-174.
- IGME (1984). *Estudio geológico-minero de los niveles de pizarras para cubiertas en el Sinclinorio de Truchas (Ourense-León)*. Informe inédito, fondo documental del IGME, Madrid.
- IGME (1990). *Investigación de pizarras en la región estructural del Sinclinorio de Truchas (León)*. Informe inédito, fondo documental del IGME, Madrid. IGME, 1990, *Investigación de pizarras en la reserva estatal “Sinclinal de Truchas”, León (2 tomos)*. Informe interno nº 11333.
- IGME (1995). *Ordenación minero-ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de la Cabrera (León)*. Informe inédito, fondo documental del IGME, Madrid.
- IGME (1994). *Ordenación minero – ambiental del yacimiento de pizarras ornamentales de La Cabrera (León)*. Documento I, Inventario ambiental, Documento II. Modelización minero – ambiental de explotaciones de pizarra en La Cabrera. Informe interno nº 11353.
- Lombardero, M. (1988). *Las pizarras ornamentales*. Roc-Maquina, (2): pags.
- Lombardero, M. (1994). Caracterización de las pizarras para cubiertas mediante técnicas petrográficas. *Canteras y Explotaciones*, 325: 75-81.
- Lombardero, M., García Guinea, J., Cárdenes, V. (2002). *The Geology of Roofing Slate*. En Scott, P; Bristow, C., Ganis, B. (editors): “*Industrial Minerals and the Extractive Industry Geology*”. The Geological Society of London. Geological Society Publishing House, Bath, England: 59-65.
- Lombardero, M., Quereda, J.M. (1992). *La Piedra Natural para la construcción*. En García-Guinea, J; Martínez-Frías, J. (edit.) *Recursos minerales de España*. CSIC, Servicio de Publicaciones, Col. Textos Universitarios, 15: 115-150. Madrid.
- Lombardero, M., Regueiro, M. (1992). Spanish natural stone: Cladding the World. *Industrial Minerals*, 300: 81-97.
- Lombardero, M., Toyos, J.M. (1995). Prospección y valoración de yacimientos de pizarras para cubiertas. *Ingeopres*, 29: 19-26.
- López, S, Iglesias, A. *La pizarra: un material para construir. Criterios constructivos y de medición*. Asociación Gallega de Pizarristas. Sobrado de Valdehorras (Orense).
- Madoz, P. (1849). *Diccionario Geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar*. Vol. XII, Madrid. 826 págs.
- Marcos, A. (1970). Sobre la presencia de un flysch del Ordovícico Superior en el occidente de Asturias (NW de España). *Brev. Geol. Astur.*, año XIV (2): 13-28.

- Martínez Catalán, J. R., Hacer Rodríguez, M. P., Villar Alonso, P., Pérez Estaún, A. y González Lodeiro, F. (1992). Lower Paleozoic extensional tectonics in the limit between West Asturian-Leonese and Central Iberian zones of the Variscan fold-belt in NW Spain. *Geologische Rundschau* 81: 545-560.
- Menéndez Seigas, J.L. (2000). *Arquitectura y Tecnología de la colocación de pizarra en cubiertas*. 2ª Edición. Asociación Gallega de Pizarristas. Sobrado de Valdehorras (Orense).
- Mills, C. (1995). *An introduction to Acid Rock Drainage*. Seminar on Acid Rock Drainage, Vancouver, B.C. : 31-45
- Nicholson, R.V., Gillham, R. W., Reardon, E. J. (1990). Pyrite oxidation in carbonate-buffered solution 2. Rate control by oxide coatings. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54(2): 395-402.
- Norma UNE Española. (2000). UNE-EN-12326-2. Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimientos. Parte 2: Métodos de ensayo, AENOR, Madrid: 55 pags.
- Pérez-Estaún, A. (1978). *Estratigrafía y estructura de la rama sur de la Zona Asturoccidental-Leonesa*. Tesis doctoral, Oviedo. 199 págs.
- Pérez-Estaún, A. Marcos A. (1981). La Formación Agüeira en el Sinclinatorio de Vega de Espinareda: Aproximación al modelo de sedimentación durante el Ordovícico Superior en la Zona Asturoccidental-Leonesa (NW de España). *Trabajos de Geología* 11: 135-145.
- van Rhijn, J. C., Melkert, M. (1993). *Petrographical criteria for the examination of roof slates*. Rockview Gesteente – Expertisebureau. Amsterdam.
- Ruiz-García, C. (1977). Aplicaciones del microscopio en relación con la calidad de las pizarras de techar. *Bol. Geol. Miner.* 88-I: 72-77.
- San Román Rodríguez, J. M. (2000). Valdeorras. La Industria de la Pizarra y las Transformaciones espaciales. Municipios de O Barco, Carballeda y Rubiá (1950-1998). *Cuaderno Monográfico nº 32. Instituto de Estudios Valdeorreses*.
- Schaufluß, A., Wayne, H., Kartio, I., Laajalehto, K., Michael, G., Szargan, R. (1998). Incipient oxidation of fractured pyrite surfaces in air. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 96: 69-82.
- Terrón Mendaña, T. (1989). El estraperlo del wólfam en las minas de Casaio. *Cuaderno del Instituto de Estudios Valdeorreses*, nº 7.
- Taboada, J., Vaamonde, A., Saavedra, A., Alejano, L. (1997). Application of geostatistical techniques to exploitation planning in slate quarries. *Engineering Geology* 47: 269-277.
- Taboada, J., Vaamonde, A. Saavedra, A. Argüelles, A. (1998). Quality index for ornamental slate deposits. *Engineering Geology* 50: 203-210.
- Thomas, J. E., Skinner, W., Smart, R. (2001). A mechanism to explain sudden changes in rates and products for pyrrhotite dissolution in acid solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65: 1-12.
- Toyos, J.M., Taboada, J., Lombardero, M., Romero Escudero, J.A. (1994). Estudio de las discontinuidades de los macizos rocosos su aplicación para la prospección de yacimientos de roca ornamental. *Bol. Geol. Miner.* 105-1:110-118.
- Ward, C., Gómez-Fernández, F. (2003). Quantitative mineralogical analysis of spanish roofing slates using the Rietveld method and X-ray powder diffraction data. *European Journal of Mineralogy* 15: 1051-1062.